

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



### INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

**LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA      Tratta MILANO – VERONA**  
**Lotto funzionale Brescia-Verona**

### PROGETTO ESECUTIVO

### GALLERIA NATURALE LONATO (GN02)

**Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00**

### Relazione tecnica sui parametri operativi della macchina EPB

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio <b>Cepav due</b>  <i>Consorzio Cepav due          il Direttore del Consorzio          (Ing. T. Taranta)</i>  Data: _____	Valido per costruzione    Data: _____

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA/DISCIPLINA	PROGR	REV
I N O R	1 1	E	E 2	R O	G N 0 2 0 1	0 0 1	A

PROGETTAZIONE						IL PROGETTISTA	
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Data	
A	Emissione	REGE	16/07/18	MERLINI	16/07/18	16/07/18	 Data: 16/07/18
B							
C							

CIG. 751447334A

File: INOR11EE2ROGN0201001A\_10.docx



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

CUP: F81H91000000008

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 RO GN 020 1 001

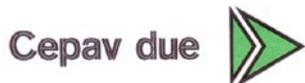
Rev.  
A

Foglio  
2 di 18

## INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	3
2.	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	4
3.	NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO .....	7
3.1.	NORMATIVE .....	7
3.2.	SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO .....	7
4.	PRESSIONE IN CAMERA DI SCAVO .....	8
4.1.	STABILITÀ DEL FRONTE DI SCAVO E COMPORTAMENTO DEL CAVO .....	8
4.2.	SCELTA DEI VALORI DI PRESSIONE IN CAMERA DI SCAVO .....	10
5.	SPINTA DELLA TBM – EPB .....	12
6.	PRESSIONE DI INIEZIONE MALTA BICOMPONENTE .....	18

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 RO GN 020 1 001

Rev.  
A

Foglio  
3 di 18

## 1. INTRODUZIONE

Oggetto della presente relazione è la descrizione delle procedure di avanzamento della TBM-EPB impiegata per la realizzazione della Galleria Lonato, appartenente alla nuova linea A.C. della tratta Milano – Verona e del lotto funzionale Brescia – Verona. Lo scavo della galleria è previsto dall'imbocco lato Verona, per entrambe le canne, iniziando prima dallo scavo della canna binario dispari.

Nel seguito sono indicati i parametri operativi della TBM – EPB, in termini di spinta dei martinetti e di pressioni da mantenere in camera di scavo e nei condotti per l'iniezione della malta bi-componente di back-filling a tergo dell'anello.

Tali dati saranno oggetto di osservazione in corso di avanzamento e sono quindi da intendersi quali linee guida tarabili in corso d'opera mediante apposite note tecniche progettuali.

Doc. N.

Progetto  
INORLotto  
11Codifica Documento  
E E2 RO GN 020 1 001Rev.  
AFoglio  
4 di 18

## 2. ELABORATI DI RIFERIMENTO

CODICE										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	P	5	GN	02	0	0	001	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Planimetria indagini geognostiche (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	P	5	GN	02	0	0	002	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Planimetria indagini geognostiche (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	R	B	GN	02	0	0	001	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Relazione geotecnica
INOR	11	E	E2	R	I	GN	02	0	0	001	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Relazione di smaltimento acque di piattaforma ed esterne
INOR	11	E	E2	R	I	GN	02	0	0	002	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Relazione idraulica per lo smaltimento delle acque meteoriche
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 1/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 2/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 3/3)
INOR	11	E	E2	F	5	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Profilo longitudinale (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	F	5	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Profilo longitudinale (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	W	9	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali (Tav. 1 di 4)
INOR	11	E	E2	W	9	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali (Tav. 2 di 4)
INOR	11	E	E2	W	9	GN	02	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali (Tav. 3 di 4)
INOR	11	E	E2	W	9	GN	02	0	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali (Tav. 4 di 4)
INOR	11	E	E2	W	Z	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezione trasversale tipologica della galleria
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	0	0	001	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Opere di drenaggio delle acque di piattaforma (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	0	0	002	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Opere di drenaggio delle acque di piattaforma (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	A	T	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Tabella materiali
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione generale
INOR	11	E	E2	C	L	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo
INOR	11	E	E2	C	L	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo - allegati numerici
INOR	11	E	E2	S	P	GN	02	0	1	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Specifiche Tecniche Macchina di scavo
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	0	1	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione tecnica sui parametri operativi della macchina EPB
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di monitoraggio
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	0	1	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Valutazione statistica dei trovanti presenti lungo il tracciato della galleria
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Modalità di esecuzione degli interventi di consolidamento
INOR	11	E	E2	S	R	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Analisi di rischio estesa
INOR	11	E	E2	F	6	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Profilo longitudinale geotecnico di previsione e di monitoraggio - Tav. 1/2
INOR	11	E	E2	F	6	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Profilo longitudinale geotecnico di previsione e di monitoraggio - Tav. 2/2
INOR	11	E	E2	C	L	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo degli effetti indotti in superficie
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria bacino di subsidenza con individuazione degli edifici (tav 1/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria bacino di subsidenza con individuazione degli edifici (tav 2/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria bacino di subsidenza con individuazione degli edifici (tav 3/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria Monitoraggio esterno. Tav 1 di 3
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	005	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria Monitoraggio esterno. Tav 2 di 3
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	006	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria Monitoraggio esterno. Tav 3 di 3
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	007	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Monitoraggio Sede autostradale
INOR	11	E	E2	W	Z	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Monitoraggio Esterno - Sezioni con strumentazione.
INOR	11	E	E2	W	Z	GN	02	A	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Monitoraggio Interno - Sezioni
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 1 - planimetria e sezioni Tav. 1/2
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 1 - planimetria e sezioni Tav. 2/2
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 2 e 3 - Planimetria e sezioni
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 4 e 5 - Planimetria e sezioni
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	005	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 6 e 7 - Planimetria e sezioni
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	006	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 8 - Planimetria e sezioni
INOR	11	E	E2	P	B	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Sezioni e schema planimetrico anello

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INORLotto  
11Codifica Documento  
E E2 RO GN 020 1 001Rev.  
AFoglio  
5 di 18

CODICE										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Viste frontali e posizioni concio di chiave
INOR	11	E	E2	D	Z	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Schema anello coordinate punti di riferimento
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo A
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo B
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo C
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo D
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	005	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo E
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	006	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo F
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	02	0	5	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Particolari costruttivi
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo A
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo B
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo C
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo D
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	005	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo E
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	006	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo F
INOR	11	E	E2	P	B	GN	02	0	5	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Andamento concii in rettilineo e in curva
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	0	8	001	GALLERIA LONATO (GA06 - G103 - GN02 - G105 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Planimetria percorsi d'esodo e segnaletica di emergenza. (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	0	8	002	GALLERIA LONATO (GA06 - G103 - GN02 - G105 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Planimetria percorsi d'esodo e segnaletica di emergenza. (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	C	L	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo by-pass e nicchie
INOR	11	E	E2	C	L	CM	01	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo by-pass e nicchie - Allegati numerici
INOR	11	E	E2	W	B	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali tipologiche delle nicchie
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei concii - Nicchie NRDG+FG e BTS/TT - Tipo 1
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei concii - Nicchie NRDG+FG e BTS/TT - Tipo 2
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei concii - Nicchie TT - Tipo 1
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei concii - Nicchie TT - Tipo 2
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	005	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei concii - Nicchie TE
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	006	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei concii - By-pass di sicurezza
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	007	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei concii - By-pass MT
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TE - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	008	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchia TE - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TE - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TE - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie NRDG+FG - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	009	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchia NRDG+FG - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	005	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie NRDG+FG - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	006	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie NRDG+FG - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	007	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TT - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	010	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchia TT - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	008	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TT - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	009	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TT - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	010	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie BTS/TT - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	011	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie BTS/TT - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	011	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie BTS/TT - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	012	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie BTS/TT - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	013	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass di sicurezza - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	012	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass di sicurezza - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	013	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass di sicurezza - Carpenteria

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INORLotto  
11Codifica Documento  
E E2 RO GN 020 1 001Rev.  
AFoglio  
6 di 18

CODICE											DESCRIZIONE
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	014	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass di sicurezza - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	015	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass MT - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	014	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass MT - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	015	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass MT - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	016	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass MT - Armatura
INOR	11	E	E2	P	7	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 1/3)
INOR	11	E	E2	P	7	CM	01	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 2/3)
INOR	11	E	E2	P	7	CM	01	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 3/3)
INOR	11	E	E2	B	X	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Collegamenti equipotenziali masse metalliche

### 3. NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO

#### 3.1. Normative

Il quadro normativo alla base della presente revisione progettuale viene nel seguito riportato:

- Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 (NTC 2008) : "Norme tecniche per le costruzioni"
- Legge 05.11.1971 n. 1086 : "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Raccomandazioni A.I.C.A.P. del Maggio 1993 : "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce".
- Regolamento U.E. nr. 1299/2014 della commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea. Pubblicato su Gazzetta Ufficiale anno 156° n°10 del 5 febbraio 2015.
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 28 ottobre 2005. Sicurezza nelle Gallerie Ferroviarie.

#### 3.2. Specifiche Tecniche di Riferimento

- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 4 – Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 3 – Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 6 – Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 2 – Ponti e strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Specifica funzionale per il sistema di protezione e controllo accessi delle Gallerie Ferroviarie (RFI DPO PA LG A). Emissione 5/5/2008.

## 4. PRESSIONE IN CAMERA DI SCAVO

### 4.1. Stabilità del fronte di scavo e comportamento del cavo

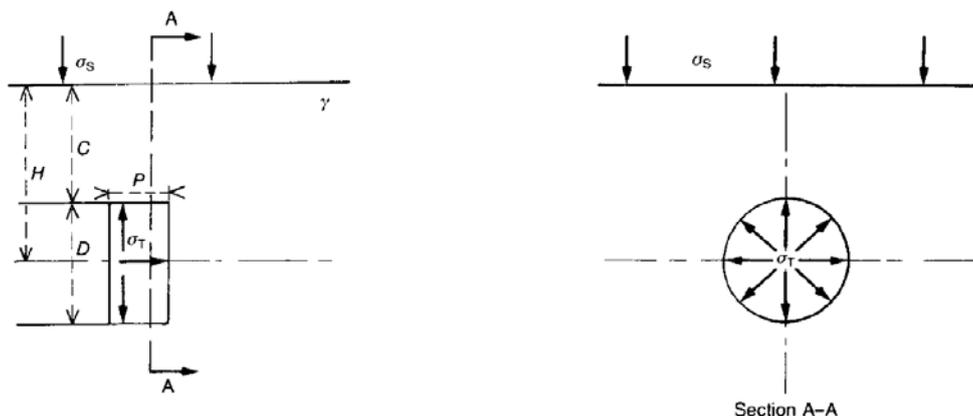
In questo paragrafo vengono riportati i risultati delle verifiche volte a definire i valori di pressione da applicare al fronte di scavo al fine di garantirne la stabilità.

Tra le differenti soluzioni analitiche in forma chiusa presenti in letteratura per il calcolo della pressione da esercitare sul fronte di scavo, in questa sede si è scelto di utilizzare il metodo di Leca & Dormieux (1990) in modo da integrare le verifiche condotte nel progetto definitivo.

Il metodo si basa sull'analisi limite e sulle seguenti assunzioni:

- terreno nel quale viene effettuato lo scavo caratterizzato da un criterio di resistenza alla Mohr-Coulomb;
- mezzo omogeneo ed isotropo;
- galleria superficiale;
- assenza di falda.

Nella Figura 4.1 viene mostrata la geometria semplificata del problema.



**Figura 4.1– Geometria semplificata per il problema della stabilità del fronte di una galleria superficiale (Leca & Dormieux, 1990).**

La pressione da applicare al fronte di scavo  $\sigma_T$ , calcolata in asse alla galleria nel caso di un terreno caratterizzato da coesione nulla, come nel caso in esame, si riduce alla seguente relazione:

$$\sigma_T = N_S \sigma_S + N_\gamma \gamma D$$

Con:

- $\sigma_s$  sovraccarico applicato sulla superficie del terreno;
- $\gamma$  peso dell'unità di volume del terreno;
- $D$  diametro della galleria;
- $N_s$  ed  $N_\gamma$  coefficienti adimensionali che dipendono dall'angolo di attrito del materiale, dalla copertura e dal diametro dello scavo.

Nella Figura 4.2 sono riportati i diagrammi proposti dagli autori per la determinazione dei coefficienti adimensionali  $N_s$  ed  $N_\gamma$ . Poiché il metodo è basato sull'analisi limite, vengono fornite due soluzioni al problema, ovvero una inferiore (*lower bound*) ed una superiore (*upper bound*) e di conseguenza negli abachi della Figura 4.2 sono indicati quattro coefficienti ( $N_s^+$ ,  $N_s^-$ ,  $N_\gamma^+$ ,  $N_\gamma^-$ ) relativi rispettivamente alla soluzione superiore (+) ed inferiore (-).

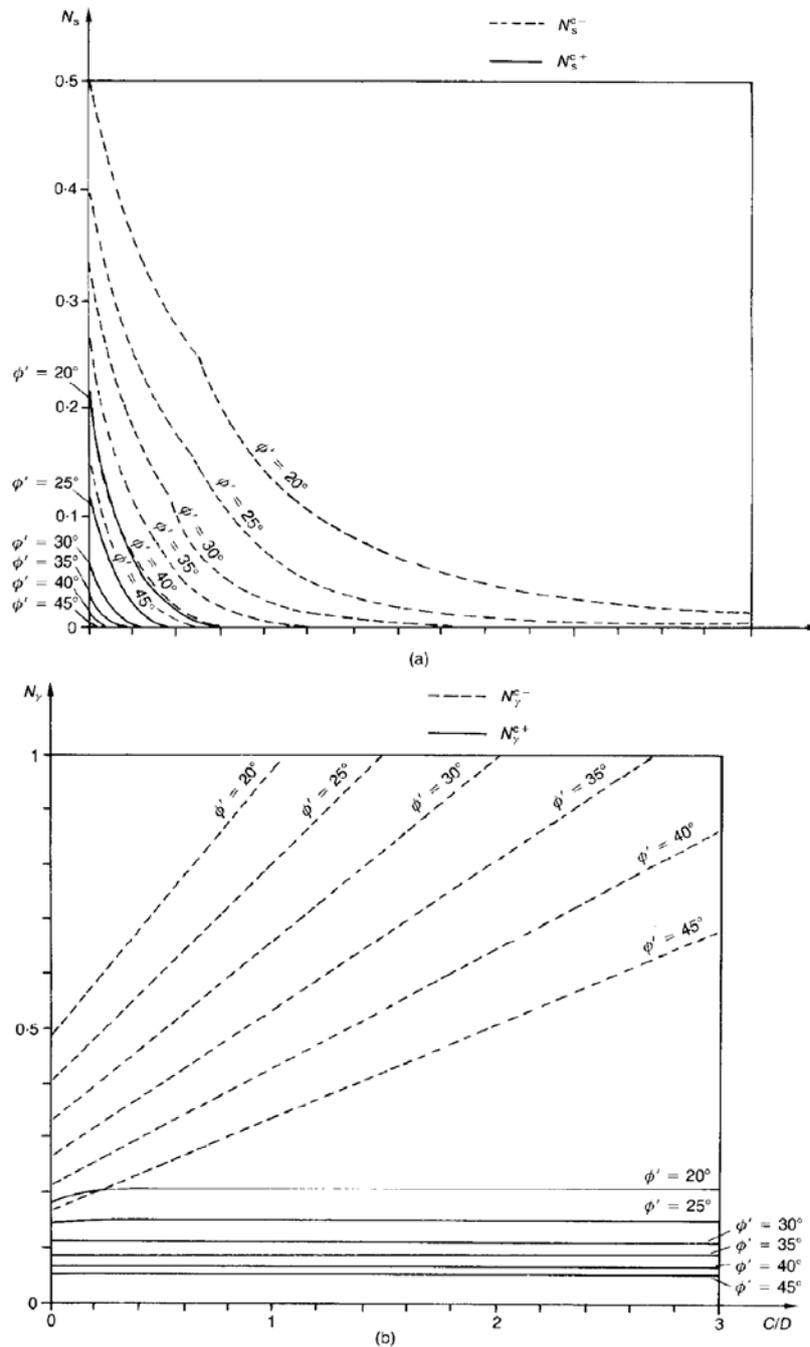


Figura 4.2 – Abachi per la determinazione dei coefficienti adimensionali  $N_s$  ed  $N_\gamma$  per il metodo di Leca & Dormieux (1990).

Sulla base del confronto tra i valori di pressione di contenimento sul fronte di scavo calcolati con la precedente relazione ed i risultati ottenuti con modelli fisici in centrifuga, gli autori indicano che la soluzione superiore (+) è quella che più si avvicina ai valori sperimentali.

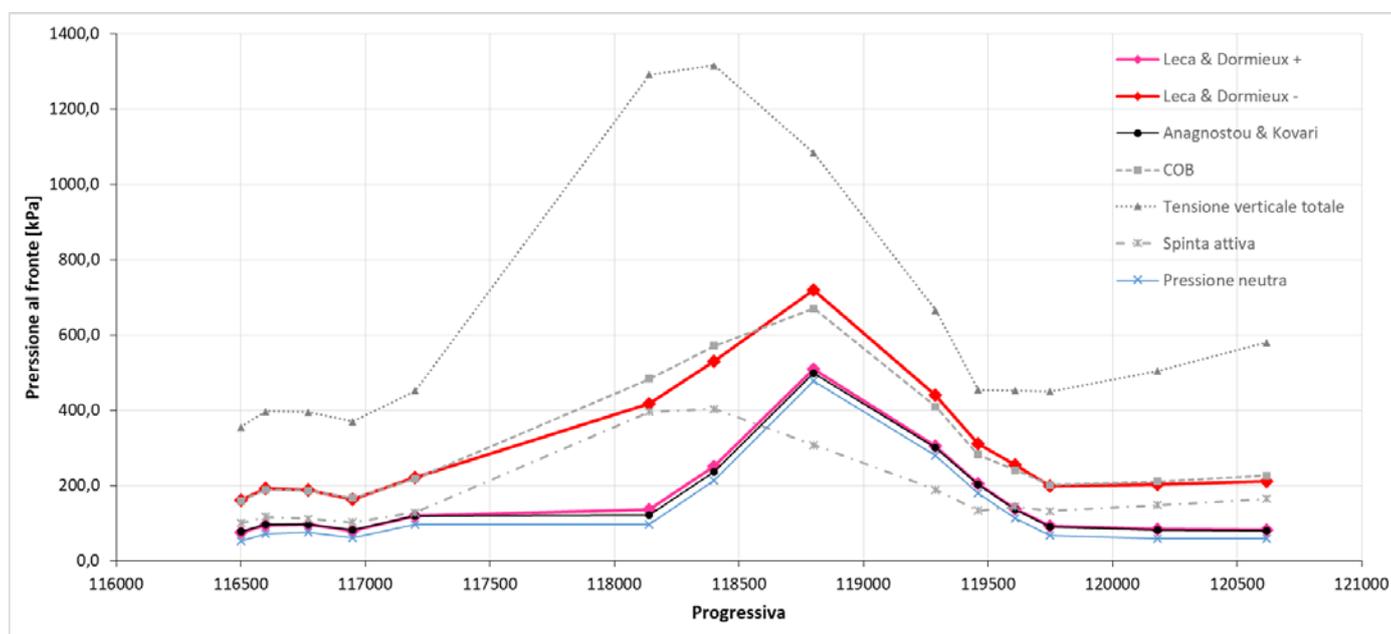
L'andamento della pressione così ottenuta in funzione della progressiva del tracciato della galleria, per entrambe le soluzioni (superiore ed inferiore), è riportata nella Figura 4.3.

Nello stesso grafico di Figura 4.3, per completezza sono stati riportati anche i risultati del calcolo della pressione al fronte ottenuta con la metodologia di Anagnostou & Kovari (1996) e con la metodologia relativa alla normativa Olandese C.O.B. (1996), nonché i valori della spinta attiva, delle tensioni verticali totali e della pressione neutra.

Per tutti i metodi utilizzati la pressione al fronte ottenuta viene assunta costante sull'intero fronte di scavo. Poiché nella soluzione di Leca & Dormieux (1990) il terreno è assunto asciutto, al valore di  $\sigma_T$  è stato sommato il valore della pressione neutra che grava sulla medesima sezione di calcolo.

L'analisi dei valori di pressione mette in evidenza come la soluzione inferiore (-) fornisca valori sistematicamente più alti (e quindi estremamente conservativi) della pressione da applicare al fronte rispetto alla soluzione superiore (+). Quest'ultima tuttavia, oltre ad essere la soluzione che fornisce risultati più simili a quelli ottenuti sperimentalmente (Leca & Dormieux, 1990), risulta anche essere in buon accordo con i valori di pressione al fronte ottenuti con la metodologia di Anagnostou & Kovári (1996).

Il grafico indica che per tutte le sezioni il contributo di carico dominante è rappresentato dalla pressione neutra dell'acqua presente nei terreni interessati dallo scavo.

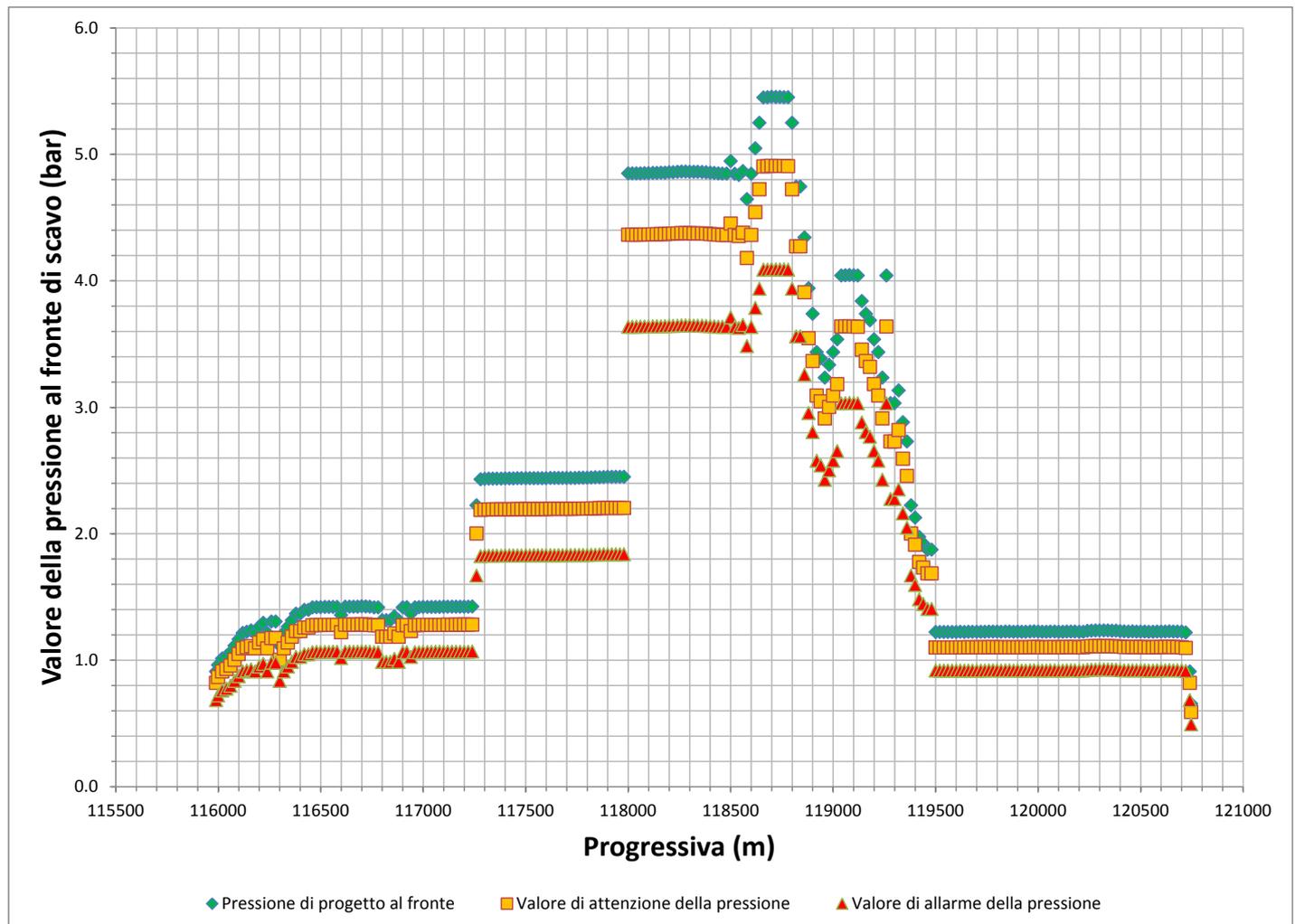


**Figura 4.3 – Andamento della pressione al fronte di scavo ottenuta con i metodi di Leca & Dormieux (1990), Anagnostou & Kovari (1996) e C.O.B. (1996), della spinta attiva, delle tensioni verticali totali e della pressione neutra lungo il tracciato della galleria naturale Lonato.**

#### 4.2. Scelta dei valori di pressione in camera di scavo

Fermo restando che occorre fare riferimento alla relazione di calcolo (documento INOR11EE2CLGN0200001) per una trattazione completa della problematica e che in dettaglio i valori della pressione da adottare nella camera di scavo sono riportati nel profilo longitudinale geotecnico di previsione e di monitoraggio (documenti INOR11EE2F6GN0200001 e INOR11EE2F6GN0200002) nella seguente figura sono riportati i valori di pressione in camera di scavo, con riferimento alla chiave di calotta.

Si riportano inoltre i valore di attenzione e di allarme; tali valori dovranno essere considerati quale soglia limite, superata la quale dovranno essere messe in atto apposite le procedure per ripristinare il valore della pressione di progetto al fronte.



**Figura 4.4 – Andamento della pressione al fronte di scavo: valori di progetto, di attenzione e di allarme.**

Si sottolinea che, durante le fasi di avanzamento, alla luce delle evidenze del sistema di monitoraggio predisposto, si potranno operare correzioni nello spirito di back-analyses in progress.

## 5. SPINTA DELLA TBM – EPB

La definizione delle forze di interazione tra terreno e TBM-EPB durante l'avanzamento della macchina non può prescindere dall'analisi tenso-deformativa allo scavo, sia in termini di estrusione del nucleo-fronte e sia in termini di convergenza del cavo stesso. Alla luce di quanto sopra per la definizione della spinta complessiva necessaria per l'avanzamento della TBM-EPB sono stati direttamente utilizzati i risultati delle analisi numeriche assialsimmetriche i cui risultati sono riportati nella relazione di calcolo (doc. INOR11EE2CLGN0200001).

In tali analisi è stato possibile, in funzione dello stato tensionale simulato e della profondità dell'asse della galleria, definire la pressione di confinamento da utilizzare nella camera di scavo e le pressioni agenti sullo scudo della macchina stessa. Queste ultime risultano di fondamentale importanza per la determinazione della forza di attrito tra scudo e terreno.

Per la stima della spinta per l'avanzamento della macchina è stata utilizzata la relazione proposta da Maidl et al. (2013) che considera la spinta dovuta alla somma di 4 termini principali distinti:

$$\Sigma W = W_{sk} + W_{sh} + W_{exc} + W_{supp}$$

dove:

- $W_{sk}$ : forza dovuta all'attrito scudo-terreno dipendente dalla pressione media agente sullo scudo, dal peso della macchina e dal coefficiente di attrito terreno-scudo.
- $W_{sh}$ : forze dovute all'attrito del sistema di spazzole in coda allo scudo ed alla forza di pretaglio della testa fresante;
- $W_{exc}$ : forze necessarie alla frantumazione dell'ammasso roccioso o del terreno al fronte attraverso i cutters;
- $W_{supp}$ : pressione di precontenimento da applicare al fronte.

Al valore di spinta che si ottiene viene poi applicato un coefficiente di sicurezza  $\gamma_f$ .

La forza dovuta all'attrito scudo-terreno  $W_{sk}$  può essere calcolata con la seguente relazione:

$$W_{sk} = \mu \cdot (2\pi RL \cdot \sigma_m + F_w)$$

dove:

- $\mu$  è il coefficiente di attrito scudo-terreno;
- $R$  ed  $L$  sono rispettivamente il raggio dello scavo e la lunghezza dello scudo;
- $\sigma_m$  è la pressione media agente all'estradosso dello scudo;
- $F_w$  è il peso della macchina comprensiva del back up di scavo.

Il coefficiente di attrito scudo-terreno  $\mu$  è dipendente dalla tipologia di terreno o roccia che viene scavata, dalla presenza o meno di lubrificazione con fanghi bentonitici al contorno dello scudo della TBM-EPB e delle condizioni di avanzamento della macchina (ripartenza dopo un fermo-scavo o avanzamento continuo). Nelle analisi effettuate il valore del coefficiente è stato fatto variare in maniera parametrica da un minimo di 0.15, che rappresenta condizioni di avanzamento continuo della macchina e presenza di una ottima lubrificazione al contatto terreno-scudo (condizioni dinamiche), fino ad un valore di 0.5 ovvero ripartenza da un fermo macchina con assenza o scarsa lubrificazione sullo scudo (condizioni statiche). Questi valori sono stati assunti da letteratura sulla base delle indicazioni riportate in Gehring (1996).

Le pressioni agenti sullo scudo della macchina sono state desunte dalle tensioni normali medie ottenute dalle analisi assialsimmetriche. In particolare per le analisi relative alla sezione 6 più profonda si è ottenuto un valore di pressione

media  $\sigma_m$  agente all'intorno dello scudo pari a 630 kPa mentre per la sezione 11 è stato ottenuto un valore pari a 175 kPa.

Il peso della TBM e del backup di scavo  $F_w$  è stato assunto pari a 12000 kN.

Per quanto concerne la stima delle forze dovute all'attrito del sistema di spazzole in coda allo scudo ed alla forza di pretaglio agente sul contorno della testa fresante ( $W_{sh}$ ), queste sono state calcolate con la presente relazione:

$$W_{sh} = 2\pi R \cdot (t \cdot p_{sh} + p_{sp})$$

dove:

- $p_{sh}$  è la forza di pretaglio al contorno della testa fresante assunta pari a 10 kN/m<sup>2</sup>;
- $t$  è lo spessore della testa fresante, ipotizzato pari a 1.2 m;
- $p_{sp}$  è la forza dovuta alle spazzole presenti in coda allo scudo, assunta pari ad 1 kN/m;

I precedenti valori sono stati assunti equivalenti a quelli utilizzati nel progetto definitivo. Utilizzando i valori precedentemente descritti,  $W_{sh}$  risulta pari a circa 408 kN.

Le forze necessarie allo scavo  $W_{exc}$  vengono calcolate con la seguente relazione:

$$W_{exc} = P_{cutter} \cdot n_{cutter}$$

dove:

- $P_{cutter}$  è la forza applicata a ciascun strumento di scavo (cutter) per lo scavo;
- $n_{cutter}$  è il numero di cutter installati sulla testa fresante.

In generale per lo scavo in terreni questo termine può essere trascurato. A titolo cautelativo tuttavia, vista la possibile presenza di trovanti lapidei anche con dimensioni massime superiori al metro all'interno dei terreni del GRUPPO 5, nel calcolo è stata assunta una forza applicata a ciascun utensile pari a 200 kN (Lunardi et al., 2011) per un numero complessivo di 50 utensili equivalenti di scavo sulla testa fresante (dato assunto equivalente a quanto riportato nel progetto definitivo).

Da ultimo la forza di pressione applicata al fronte  $W_{supp}$  è data da:

$$W_{supp} = P_{fronte} \cdot A_{exc}$$

dove:

- $P_{fronte}$  è la pressione applicata al fronte nella camera di scavo;
- $A_{exc}$  è la superficie del fronte di scavo, pari a 78.5 m<sup>2</sup> per una galleria circolare con diametro 10 m.

In questo caso le pressioni al fronte sono state fatte variare parametricamente considerando la completa assenza della pressione della camera di scavo ( $P_{fronte} = 0$ ), incrementando successivamente tale pressione a 150 e 300 kPa sulla base dei valori di pressione al fronte calcolati nella relazione di calcolo (Capitolo 5), fino alla pressione massima di 600 kPa (6 bar) che rappresenta il valore massimo di progetto della TBM-EPB. In questo modo è stato possibile ottenere la spinta richiesta per l'avanzamento nelle differenti situazioni di contropressione che si prevedono di applicare nelle fasi di scavo.

I risultati dell'analisi parametrica vengono riportati nei grafici delle seguenti Figure in termini di spinta totale netta richiesta per l'avanzamento della TBM-EPB in funzione della pressione media agente sullo scudo per differenti coefficienti di attrito scudo-terreno  $\mu$ .

Come si può osservare, in assenza di pressione applicata al fronte e considerando altresì nulle le pressioni al contorno dello scudo, il valore di spinta minima è pari circa al peso stesso della TBM e del backup di scavo (12000 kN).

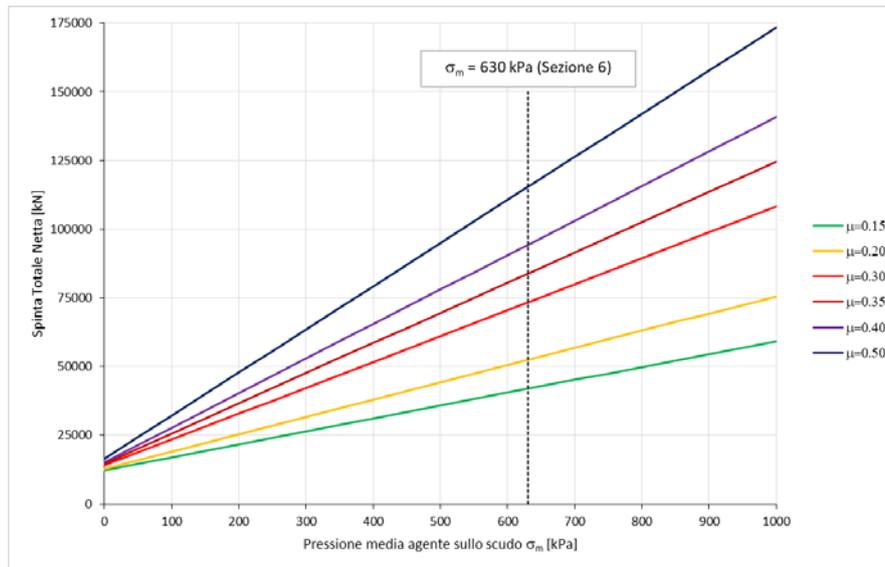


Figura 5.1 – Risultati dell'analisi parametrica della spinta della TBM-EPB per differenti valori del coefficiente  $\mu$  in assenza di spinta al fronte.

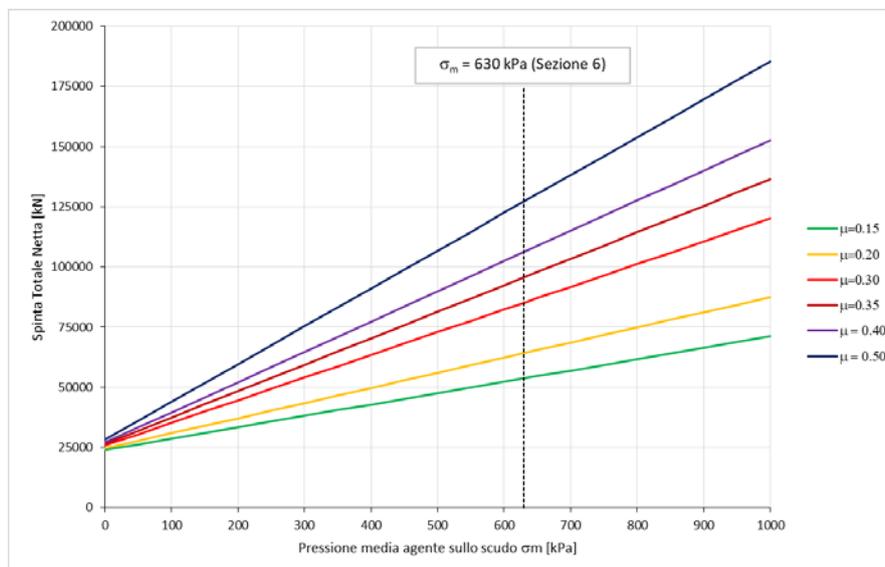
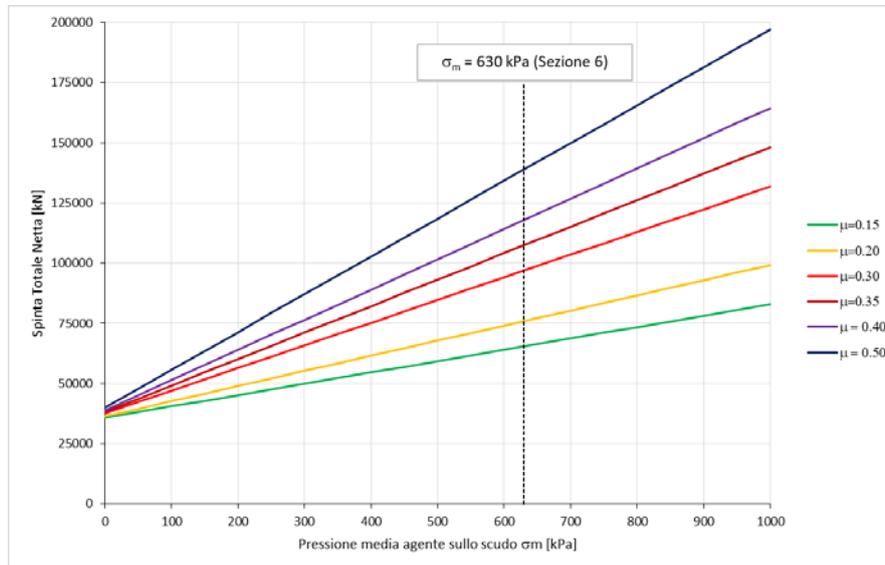
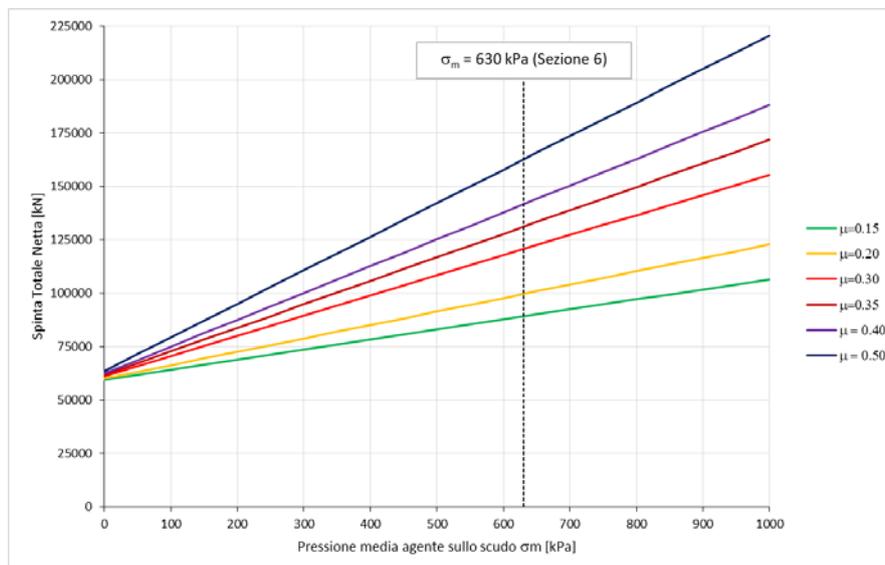


Figura 5.2 - Risultati dell'analisi parametrica della spinta della TBM-EPB per differenti valori del coefficiente  $\mu$  con spinta al fronte pari a 150 kPa.



**Figura 5.3- Risultati dell'analisi parametrica della spinta della TBM-EPB per differenti valori del coefficiente  $\mu$  con spinta al fronte pari a 300 kPa.**



**Figura 5.4 – Risultati dell'analisi parametrica della spinta della TBM-EPB per differenti valori del coefficiente  $\mu$  con spinta al fronte pari a 600 kPa.**

La presenza di una pressione nella camera di scavo via via crescente (150-300-600 kPa) porta la spinta necessaria all'avanzamento della macchina – sempre in condizioni di pressioni nulle all'interfaccia tra scudo e macchina, tipico di uno scavo in terreno non spingente - rispettivamente a 25000, 35000 e 60000 kN circa. Da questi valori sono poi derivabili i valori di spinta in funzione della pressione agente sul contorno dello scudo ed in funzione dei differenti coefficienti di attrito scudo-terreno. All'aumentare del coefficiente di attrito terreno-scudo  $\mu$  ed all'aumentare della pressione media agente  $\sigma_m$  sullo scudo stesso i valori di spinta aumentano linearmente come è lecito attendersi.

Sulla base di quanto sopra e sulla base dei valori di tensione agenti sullo scudo ottenuti dalle analisi assialsimmetriche, si forniscono nel seguito i valori di spinta per condizioni di avanzamento normale (condizioni dinamiche) e per le condizioni di ripartenza della macchina da una condizione di fermo-scavo (condizioni statiche). Queste ultime rappresentano le condizioni più gravose in termini di spinta richiesta per l'avanzamento.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 RO GN 020 1 001

Rev.  
A

Foglio  
16 di 18

Per le condizioni di avanzamento normale della macchina (condizioni dinamiche), sono stati assunti i seguenti valori di calcolo:

- Peso macchina: 12000 kN
- Lunghezza scudo: 10 m
- Raggio di scavo: 5 m
- $W_{sh}$ : 408 kN
- $\mu$ : 0.35;
- $\sigma_m$ : 630 kPa;
- $P_{cutter}$ : 200 kN per 50 utensili equivalenti sulla testa fresante;
- $P_{fronte}$ : 300 kPa.

In queste condizioni la spinta totale richiesta per l'avanzamento della macchina risulta essere pari a 107442 kN.

Per le condizioni di ripartenza da un fermo-scavo della macchina (condizioni statiche), sono stati assunti i seguenti valori di calcolo:

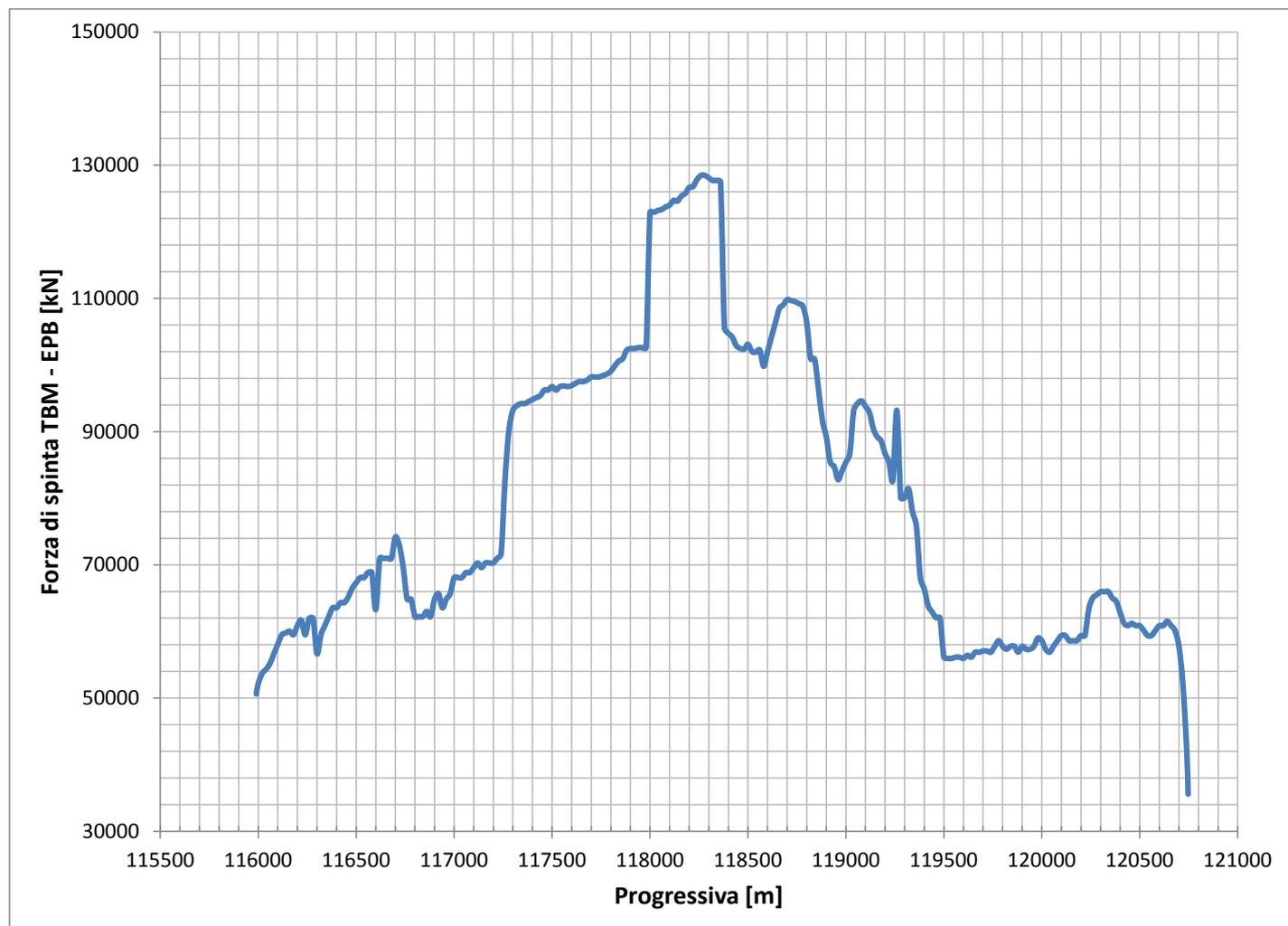
- Peso macchina: 12000 kN
- Lunghezza scudo: 10 m
- Raggio di scavo: 5 m
- $W_{sh}$ : 408 kN
- $\mu$ : 0.50;
- $\sigma_m$ : 630 kPa;
- $P_{cutter}$ : 200 kN per 50 utensili equivalenti sulla testa fresante;
- $P_{fronte}$ : 300 kPa.

In queste condizioni la spinta totale richiesta per l'avanzamento della macchina risulta essere pari a 138930 kN.

Tutti i valori di spinta precedentemente ottenuti devono intendersi come valori caratteristici, ottenuti quindi senza l'applicazione di alcun coefficiente di sicurezza  $\gamma_f$ .

In conclusione nella seguente figura si riportano i valori della spinta di progetto avendo considerato un fattore di sicurezza pari a 1.1 (anche alla luce del fatto che si ha un possibile margine sul coefficiente di attrito reale).

I valori indicati in Figura sono valori di riferimento, che potranno essere modulati in dettaglio in corso d'opera in funzione dei riscontri in campo.



**Figura 5.5 – Previsione dell'andamento della spinta di progetto per l'avanzamento della TBM – EPB lungo la galleria Lonato.**

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 RO GN 020 1 001

Rev.  
A

Foglio  
18 di 18

## 6. PRESSIONE DI INIEZIONE MALTA BICOMPONENTE

La pressione di iniezione della malta bicomponente di riempimento dello spazio anulare a tergo del rivestimento in conci prefabbricati è stata definita con il principio di assumere un valore di pressione di poco superiore a quella mantenuta in camera di scavo (circa 0.5 bar), così da evitare il rifluimento di materiale condizionato e schiuma verso la coda dello scudo.

Si è indicato un campo di variabilità, tenendo conto sia della variazione di pressione in camera di scavo lungo l'altezza del fronte, sia del fatto che in fase di completamento del riempimento generalmente si alza la pressione sui valori superiori del campo di variabilità, così da verificare il completo riempimento dello spazio anulare.

Le pressioni si intendono al punto di uscita della coda e quindi ad esse occorrerà aggiungere le perdite di carico lungo il sistema di adduzione.

Sulla base di quanto sopra, nella seguente figura sono riportati i valori delle pressione di iniezione lungo l'intero sviluppo della galleria.